

## PENGARUH KOMPOSISI ASH BATUBARA TERHADAP KUALITAS KLINKER PORTLAND CEMENT PADA PT. SEMEN TONASA UNIT III

Nurlianti Dahliar\*, Sri Widodo\*, Adi Tonggiroh\*

\*) Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin

**Sari:** Klinker semen *portland* merupakan suatu material hidraulik yang terdiri atas  $C_3S$ ,  $C_2S$ ,  $C_3A$  dan  $C_4AF$ . Untuk memproduksi klinker, *raw meal* akan dibakar di *kiln* pada suhu  $1450^{\circ}C$  dengan menggunakan panas hasil pembakaran batubara. Proses pembakaran klinker merupakan proses paling penting bagi industri semen. Pada industri semen *portland*, batubara tidak hanya digunakan sebagai bahan bakar, tetapi juga dapat memengaruhi komposisi dari klinker. Abu pada batubara akan bercampur dengan *raw meal* pada saat proses klinkerisasi. Oleh sebab itu, apabila kualitas dari batubara tidak sesuai dengan *raw meal* maka akan menyebabkan mentahnya klinker. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh abu batubara terhadap kualitas klinker. Hal ini dimaksudkan agar kualitas klinker semen *portland* di PT. Semen Tonasa sesuai dengan ASTM C-150-1999 dan SNI No. 15-6514-2001. Hasil analisis dari uji T-berpasangan menunjukkan komposisi abu batubara yang memengaruhi kualitas klinker setelah terjadinya proses klinkerisasi adalah LSF, SM,  $C_3S$ ,  $C_2S$ , dan  $C_4AF$ . Berdasarkan hasil analisis regresi sederhana, besarnya pengaruh komposisi *ash* batubara terhadap kualitas klinker semen *portland* hanya sedikit. Modulus LSF memiliki pengaruh yang paling tinggi mencapai 0,885%, AM berkisar antara 0,1-0,3%,  $C_2S$  berkisar antara 0,01-0,07%,  $C_3S$  berkisar antara 0,01-0,02%, dan  $C_4AF$  sebesar 0,019%.

**Kata kunci:** klinker, abu batubara, kualitas,  $C_3S$ ,  $C_4AF$ , semen *portland*

**Abstract:** *Portland cement clinker is a hydraulic material consists of  $C_3S$ ,  $C_2S$ ,  $C_3A$  and  $C_4AF$ . For producing clinker, raw meal have been burn in kiln at temperature  $1450^{\circ}C$  by using the heat combustion from coal. Clinker burning process is the most important process for the cement industry. In the portland cement industry, coal was not only used as a fuel, but it can also affected the composition of clinker. The coal ash will be mixed with raw meal during clinkerization process. Therefore, when the quality of the coal is not in accordance with the raw meal, it will cause crude clinker. The main purpose of study is to determine the influence of coal ash toward clinker quality. It should be known because portland cement clinker quality of PT. Semen Tonasa have to be on standard according to ASTM C-150-1999 and SNI No. 15-6514-2001. The results of paired T-test analysis showed that the composition of the coal ash which affected the quality of clinker after clinkerization process were LSF, SM,  $C_3S$ ,  $C_2S$ , and  $C_4AF$ . Based on the result of simple regression analysis, the amount of coal ash composition toward clinker portland cement quality was minor. LSF had the highest influence up to 0.885%, AM range between 0.1-0.3%,  $C_2S$  range between 0.01-0.07%,  $C_3S$  range between 0.01-0.02%, and  $C_4AF$  was 0.019%.*

**Keywords:** *clinker, coal ash, quality,  $C_3S$ ,  $C_4AF$ , portland cement*

### 1. PENDAHULUAN

PT. Semen Tonasa merupakan perusahaan industri milik negara yang memproduksi semen untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri khususnya di wilayah Indonesia Timur. Perusahaan ini berada di Desa Biring Ere, Kabupaten Pangkep, Sulawesi Selatan. Untuk memenuhi kepuasan dan kebutuhan konsumen di wilayah tersebut, semen yang diproduksi

harus memiliki kualitas yang baik, terutama dari segi kualitas komposisi kimianya. Berdasarkan ASTM dan SNI untuk kualitas klinker, kualitas LSF 94-98%, SM 2-2,4%, AM 1,4-1,8%,  $C_3S$  55-60%,  $C_2S$  10-14%,  $C_3A$  8-12%, dan  $C_4AF$  10-12%. Adapun target kualitas klinker yang ingin dicapai oleh PT. Semen Tonasa yakni LSF 96%, SM 2,2%, AM 1,6%,  $C_3S$  57%,  $C_2S$  12%,  $C_3A$  10%, dan  $C_4AF$  11%. Kualitas komposisi kimia dari semen sangat

bergantung pada kualitas klinker hasil proses pembakaran di *kiln*. Bahan bakar utama yang digunakan di PT. Semen Tonasa adalah batubara. Selain digunakan sebagai bahan bakar, komposisi *ash* batubara dalam industri semen juga berperan dalam menentukan kualitas klinker yang dihasilkan dari proses pembakaran.

Batubara yang digunakan di PT. Semen Tonasa berasal dari berbagai daerah di Indonesia sehingga proses pengontrolan terhadap kualitas batubara haruslah dilakukan dengan teliti. Oleh sebab itu, untuk memperoleh klinker *Portland Cement* dengan kualitas yang baik, maka perlu dilakukan studi tentang pengaruh komposisi *ash* pada batubara yang digunakan terhadap kualitas klinker. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui komposisi *ash* batubara yang berpengaruh sebelum dan sesudah terjadinya proses pembakaran dan *kiln* dan juga untuk mengkaji besarnya pengaruh dari komposisi *ash* batubara tersebut terhadap kualitas klinker *portland cemen*.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian pada penelitian ini adalah metode penelitian langsung di lapangan. Data-data yang diperoleh dari perusahaan kemudian dianalisis menggunakan *software Ms. Excel* dan SPSS 17.0.

### 2.1. Observasi Lapangan

Observasi Lapangan dilakukan pada wilayah produksi Terak I PT. Semen Tonasa (Tonasa II/III), Pangkep, Sulawesi Selatan. Pengamatan dilakukan terhadap proses pembuatan semen dimulai dari unit *crusher*, *raw mill*, *kiln*, *coal mill*, hingga *finish mill*. Selain dilakukan pengamatan di unit peralatan pembuatan semen, pengamatan juga di laboratorium *Quality Assurance* (QA) dan *Quality Control* (QC) untuk melihat proses pengujian conto.

Pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan  $\pm 2$  bulan yaitu mulai tanggal 1 April-30 Mei 2014. Pengumpulan data dilakukan dengan melakukan percobaan langsung maupun pengambilan data sekunder hasil pengujian di laboratorium QA dan QC PT. Semen Tonasa. Data yang dibutuhkan untuk penelitian ini berupa data hasil analisis proksimat batubara (*ash content*), data hasil pengujian klinker, *raw*

*meal*, dan hasil pengujian *ash analysis* dari *ash* batubara.

### 2.2. Analisis Data

Pengolahan data dilakukan secara bertahap setelah data-data yang dibutuhkan telah terkumpul kemudian dilakukan perhitungan. Tahapan pengolahan data yang dilakukan meliputi perhitungan analisis deskriptif, *one sample T-test*, uji T-berpasangan, dan analisis regresi pada setiap data kualitas *raw meal*, *ash* batubara, dan klinker. Adapun tahapan pengolahan dan analisis data yang ada dalam penelitian ini adalah:

#### 2.2.1 Perhitungan LSF, SM, dan AM

##### a. Lime Saturation Factor (LSF)

Alemayu dan Sahu (2013) menjelaskan bahwa LSF merupakan perbandingan antara seluruh CaO yang terdapat dalam campuran bahan baku dengan sejumlah proporsi oksida lain untuk menghasilkan *raw meal* atau klinker. LSF pada *raw meal* berkisar antara 90-110% dan untuk klinker berkisar antara 93-98% dengan *free lime*  $< 2\%$ . Secara umum LSF dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$LSF = \frac{100 \times CaO}{2,8 SiO_2 + 1,18 Al_2O_3 + 0,65 Fe_2O_3}$$

##### b. Silica Modulus (SM)

Menurut Kerton dan Murray (1983), SM merupakan perbandingan antara oksida silika dengan sejumlah proporsi oksida alumina dan oksida besi. Idealnya besaran SM 2-2,3%. Besaran SM dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$SM = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3}$$

##### c. Alumina Modulus (AM)

AM merupakan perbandingan antara oksida alumina dengan oksida besi. Besaran AM akan berpengaruh pada warna dari klinker dan semen. Semakin tinggi besaran AM maka semakin terang pula warna dari semen tersebut (Alemayu dan Sahu, 2013). AM biasanya berkisar antara 1-1,3%. Besaran AM

dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$AM = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$$

## 2.2.2 Perhitungan $C_3S$ , $C_2S$ , $C_3A$ , dan $C_4AF$ (Mohammed, 2012)

### 2.3 Trikalsium Silikat ( $3CaO \cdot SiO_2$ atau $C_3S$ )

Trikalsium Silikat atau Alite merupakan komponen utama dalam klinker yang terbentuk pada suhu  $1200^\circ C - 1450^\circ C$ . Alite ini memberi kekuatan awal semen (sebelum 28 hari) dan dapat memengaruhi kekuatan akhir semen. Besaran  $C_3S$  dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$C_3S = 4,071CaO - 7,602SiO_2 - 6,718Al_2O_3 - 1,4297Fe_2O_3$$

### 2.4 Dikalsium Silikat ( $2CaO \cdot SiO_2$ atau $C_2S$ )

$C_2S$  atau Belite umumnya berkisar antara 15-35% dan rata-rata 25%. Belite terbentuk pada suhu  $800-900^\circ C$  dan memberi kekuatan akhir pada semen. Besaran  $C_2S$  dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$C_2S = 2,8675SiO_2 - 0,7544C_3S$$

### 2.5 Trikalsium Aluminat ( $3CaO \cdot Al_2O_3$ atau $C_3A$ )

Trikalsium Aluminat terbentuk pada suhu  $1100-1200^\circ C$ . Kandungan  $C_3A$  pada semen *portland* bervariasi antara 7-15%. Kandungan ini berperan dalam menentukan kuat tekan awal dari semen. Besaran  $C_3A$  dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$C_3A = 2,6504Al_2O_3 - 1,6920Fe_2O_3$$

### 2.6 Tetrakalsium Alumino Ferrite ( $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot FeO_3$ atau $C_4AF$ )

Tetrakalsium Alumino Ferrite terbentuk pada suhu  $1100^\circ C - 1200^\circ C$ . Kandungan  $C_4AF$  pada semen *portland* bervariasi antara 5-10% dengan rata-rata 8%. Ferrite ini berperan dalam menentukan warna pada semen. Besaran  $C_4AF$  dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$C_4AF = 3,0432Fe_2O_3$$

## 2.2.3 One Sample T-Test dan Uji T-berpasangan

Menurut Trihendradi (2013) *one sample T-test* digunakan untuk menguji hipotesis perbedaan rata-rata suatu variabel dengan suatu konstanta tertentu atau nilai hipotesis. Konstanta atau nilai hipotesis yang dimaksud adalah nilai rata-rata pada masing-masing komposisi kimia *raw meal*, *ash*, dan klinker yang diperoleh dari hasil analisis deskriptif. Pengujian *one sample T-test* dilakukan untuk semua data penelitian yaitu pada data kualitas *raw meal*, *ash* batubara, dan klinker.

Hasil pengujian *one sample T-test* selanjutnya dianalisis dengan melakukan uji T-berpasangan. Uji ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh rata-rata dari masing-masing data *raw meal*, *ash* batubara, dan klinker. Pengujian ini menggunakan perbandingan nilai rata-rata dua variabel. Seperti halnya dengan *one sample T-test*, uji ini juga menggunakan hipotesis. Hipotesis  $H_0$  diterima jika nilai  $t_{hitung} < t_{tabel}$ . Sebaliknya jika nilai  $t_{hitung} > t_{tabel}$  maka  $H_0$  ditolak. Selain penentuan hipotesis, pada pengujian ini juga dapat diketahui kolerasi atau hubungan antar sampel atau variabel.

## 2.2.3 Analisis Regresi Linear dan Non Linear

Regresi adalah pengukur hubungan dua variabel atau lebih yang dinyatakan dengan bentuk hubungan atau fungsi. Untuk menentukan bentuk hubungan (regresi) diperlukan pemisahan yang tegas antara variabel bebas yang sering diberi simbol X dan variabel tak bebas dengan simbol Y Analisis regresi memiliki dua sifat analisis yaitu bersifat linear dan non linear. Pada sifat linear, maka kurva akan membentuk arah menaik atau menurun dengan garis lurus tergantung pada hubungan antara variabel dependen dan variabel independen baik sederhana maupun berganda, sedangkan non linear memiliki dua model yaitu model kuadratik dan kubik dengan kurva membentuk garis lengkung (Sugiyono, 2012).

## 3. HASIL PENELITIAN

### 3.1 Pengaruh Komposisi Ash Batubara Sebelum terjadinya Proses Pembakaran di Kiln

Analisis yang digunakan untuk mengetahui komposisi kimia *ash* batubara yang akan

berpengaruh terhadap kualitas klinker adalah uji T-berpasangan. Pada pengujian ini, data yang digunakan adalah data dari kualitas *ash* bulan April dapat dilihat seperti pada Tabel 1. di bawah ini:

Tabel 1. *Paired Sample Colerration Ash Batubara*

	N	Correlation	Sig.
CaO & SiO <sub>2</sub>	30	-0,435	0,016
CaO & Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30	0,198	0,294
CaO & Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30	0,042	0,825
SiO <sub>2</sub> & Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30	-0,178	0,346
SiO <sub>2</sub> & Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30	-0,250	0,183
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> & Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30	0,168	0,376

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada Tabel 1, kolerasi yang paling kuat yakni kolerasi antara CaO dan SiO<sub>2</sub> (-0,435), tanda negatif menunjukkan hubungan yang berlawanan. Jika nilai CaO naik maka nilai SiO<sub>2</sub> akan turun begitupula sebaliknya. Untuk penentuan uji hipotesis ditunjukkan pada Tabel 2. di bawah ini:

Tabel 2. Uji T-berpasangan *Ash Batubara*

<i>Paired Differences</i>								
				<i>95% Confidence Interval of the Difference</i>				<i>Sig. (2-tailed)</i>
	<i>Mean</i>	<i>Std. Deviation</i>	<i>Std. Error Mean</i>	<i>Lower</i>	<i>Upper</i>	<i>t</i>	<i>df</i>	
CaO-SiO <sub>2</sub>	-44,40	14,04	2,56	-49,64	-39,16	-17,32	29	0,000
CaO-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,04	6,58	1,20	-0,42	4,49	1,69	29	0,101
CaO-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,26	7,42	1,35	0,49	6,03	2,41	29	0,023
SiO <sub>2</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	46,44	12,18	2,22	41,89	50,98	20,89	29	0,000
SiO <sub>2</sub> -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	47,66	12,68	2,32	42,93	52,40	20,59	29	0,000
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,23	6,08	1,11	-1,04	3,50	1,11	29	0,278

Nilai t tabel dengan jumlah data 30 dan  $\alpha = 5\%$  . adalah 2,045 Berdasarkan hasil yang diperoleh pada Tabel 2, nilai t hitung < t tabel sehingga hipotesis Ho diterima maka kedua variabel tersebut memiliki rata-rata yang sama dan tidak akan berpengaruh satu sama lain. Nilai t hitung dari pasangan CaO-SiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dan SiO<sub>2</sub>-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> lebih besar dibandingkan dengan t tabel, maka Ho ditolak. Kedua variabel pada pasangan tersebut memiliki perbedaan rata-rata dan akan memengaruhi satu sama lain. Hasil yang diperoleh pada bulan Mei juga menunjukkan hasil yang sama seperti pada pada pengujian di bulan April. Berdasarkan hal tersebut, maka senyawa oksida *ash* batubara yang kemungkinan akan berpengaruh terhadap kualitas klinker nantinya adalah CaO-SiO<sub>2</sub>, CaO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dan SiO<sub>2</sub>-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

batubara pada bulan April-Mei 2014. Hasil *output* SPSS 17.0 untuk pengujian *ash* batubara

### 3.2. Pengaruh Komposisi Ash Batubara Setelah terjadinya Proses Pembakaran di Kiln

Pengaruh komposisi *ash* batubara setelah terjadinya proses pembakaran di *kiln* dapat dianalisis menggunakan uji T-berpasangan. Pengujian ini dilakukan pada setiap kelompok data pada *ash* batubara terhadap kelompok data pada klinker.

Pengujian pada tahapan ini tidak lagi membandingkan senyawa-senyawa dari *raw meal* akan tetapi sudah dalam bentuk modulus dan komposisi kimia dari semen. Variabel yang dibandingkan yaitu LSF, SM, AM, C<sub>3</sub>S, C<sub>2</sub>S, C<sub>3</sub>A, dan C<sub>4</sub>AF. Senyawa inilah yang kemudian menentukan kualitas dari klinker maupun semen.

Pengujian ini juga dilakukan pada data di bulan April dan Mei. Untuk memperoleh nilai

dari LSF, SM, AM, C<sub>3</sub>S, C<sub>2</sub>S, C<sub>3</sub>A, dan C<sub>4</sub>AF pada *ash* batubara dilakukan dengan melakukan perhitungan dengan *Ms. Excel*. Hasil dari kolerasi data antar kualitas *ash* batubara dan klinker dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. *Paired Sample Colerration Ash Batubara dengan Klinker Bulan April 2014*

	N	Correlation	Sig.
LSF <i>Ash</i> & LSF Klinker	30	-0,210	0,266
SM <i>Ash</i> & SM Klinker	30	-0,054	0,776
AM <i>Ash</i> & AM Klinker	30	0,505	0,004
C <sub>3</sub> S <i>Ash</i> & C <sub>3</sub> S Klinker	30	0,043	0,822
C <sub>2</sub> S <i>Ash</i> & C <sub>2</sub> S Klinker	30	0,005	0,977
C <sub>3</sub> A <i>Ash</i> & C <sub>3</sub> A Klinker	30	0,565	0,001
C <sub>4</sub> AF <i>Ash</i> & C <sub>4</sub> AF Klinker	30	0,439	0,015

Berdasarkan Tabel 3 dapat dilihat bahwa kolerasi yang paling kuat yakni kolerasi antara C<sub>3</sub>A *ash* dan C<sub>3</sub>A klinker (0,565). Tanda positif menunjukkan hubungan yang searah. Apabila

nilai C<sub>3</sub>A *ash* naik, maka nilai C<sub>3</sub>A klinker juga akan naik, begitupula sebaliknya. Hasil dari uji T-berpasangan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Uji T-berpasangan *Ash* Batubara dan Klinker

Paired Differences								
95% Confidence Interval of the Difference						t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	Lower	Upper			
LSF Ash & LSF Klinker	-88,26	4,03	0,74	-89,77	-86,76	-119,9	29	0,000
SM Ash & SM Klinker	1,37	3,02	0,55	0,25	2,50	2,49	29	0,019
AM Ash & AM Klinker	-0,48	0,45	0,08	-0,65	-0,32	-5,88	29	0,000
C3S Ash & C3S Klinker	-530,15	87,97	16,06	-563	-497,3	-33,01	29	0,000
C2S Ash & C2S Klinker	502,12	95,01	17,35	466,64	537,6	28,95	29	0,000
C3A Ash & C3A Klinker	1,76	12,91	2,36	-3,06	6,58	0,75	29	0,461
C4AF Ash & C4AF Klinker	17,15	14,66	2,68	11,68	22,63	6,41	29	0,000

Nilai SM dan C<sub>3</sub>A pada Tabel 4. menunjukkan nilai  $t_{hitung} < t_{tabel}$  (2,045). Berdasarkan hal tersebut maka hipotesis  $H_0$  diterima sehingga kedua variabel memiliki rata-rata yang sama sehingga tidak akan berpengaruh. Untuk nilai  $t_{hitung}$  dari LSF, AM, C<sub>2</sub>S, C<sub>3</sub>S, dan C<sub>4</sub>AF lebih besar dibandingkan dengan  $t_{tabel}$  (2,045) maka  $H_0$  ditolak. Kedua variabel pada pasangan tersebut memiliki perbedaan rata-rata dan akan memengaruhi satu sama lain.

Berdasarkan hasil tersebut, modulus dan komposisi kimia dari *ash* batubara yang berpengaruh terhadap kualitas klinker adalah LSF, AM, C<sub>2</sub>S, C<sub>3</sub>S, dan C<sub>4</sub>AF. Hasil ini juga diperoleh pada pengujian di bulan Mei, sehingga komposisi kimia dari *ash* batubara yang berpengaruh terhadap kualitas klinker adalah LSF, AM, C<sub>2</sub>S, C<sub>3</sub>S, dan C<sub>4</sub>AF.

### 3.3. *Besarnya Pengaruh Komposisi Ash Batubara terhadap Kualitas Klinker Portland Cement*

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada pengujian sebelumnya, LSF, AM, C<sub>2</sub>S, C<sub>3</sub>S, dan C<sub>4</sub>AF merupakan komposisi kimia yang berpengaruh terhadap kualitas klinker *portland cement*. Untuk mengetahui besarnya pengaruh dari masing-masing komposisi kimia tersebut, maka dilakukan analisis regresi sederhana. Pada pengujian ini, variabel X merupakan kualitas dari *ash* batubara sedangkan variabel Y merupakan kualitas dari klinker *portland cement*.

#### 3.3.1 *Pengaruh Modulus LSF Ash Batubara terhadap LSF Klinker*

Pengujian regresi ini menggunakan variabel bebas yaitu LSF *ash* batubara (X) dengan variabel terikat yaitu LSF klinker (Y). Hasil dari pengujiannya dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Koefisien Kolerasi dan Koefisien Determinasi LSF

<i>Model Summary</i>			
<i>R</i>	<i>R Square</i>	<i>Adjusted R Square</i>	<i>Std. Error of the Estimate</i>
0,242	0,059	0,025	0,781

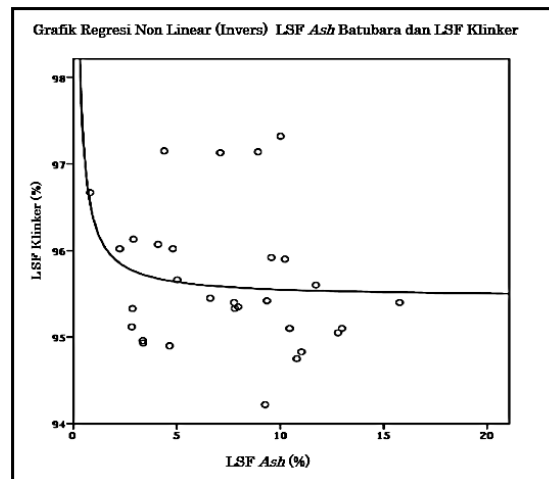
*The independent variable is LSF Ash*

Berdasarkan Tabel 5 di atas, nilai dari koefisien kolerasi (R) adalah 0,242. Hal ini berarti bahwa kolerasi antara LSF *ash* batubara dengan LSF klinker yakni 0,242 maka kolerasi antar kedua variabel tersebut rendah. Koefisien determinasinya ( $R^2$ ) adalah 0,059 atau 5,9% sehingga LSF *ash* batubara memiliki pengaruh 5,9% terhadap LSF klinker dan 94,1% lainnya dipengaruhi oleh faktor lain. Hasil dari pengujian koefisien dan jenis regresinya dapat dilihat pada Tabel 6 berikut ini:

Tabel 6. Koefisien Model Invers LSF *Ash* Batubara terhadap LSF Klinker

<i>Coefficients</i>					
		<i>Unstandardized Coefficients</i>	<i>Std. Error</i>	<i>Stand. Coefficients</i>	
		<i>B</i>	<i>Std. Error</i>	<i>Beta</i>	<i>t</i>
1	/				
LSF		0,885	0,671	0,242	1,320
<i>Ash</i>					
(Const		95,460	0,200		476,824
<i>ant)</i>					0,000

Hasil yang diperoleh pada Tabel 6 menunjukkan nilai untuk koefisien a adalah 95,46 dan untuk koefisien b adalah 0,885 dengan nilai signifikan 0,198. Pemilihan model regresi invers dilakukan karena model ini memiliki nilai korelasi dan koefisien determinasi yang paling besar diantara model regresi non linear yang lainnya. Gambar 1 menunjukkan grafik dari regresi non linear model invers untuk LSF.

Gambar 1. Grafik regresi non linear (invers) LSF *ash* batubara dan klinker

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada Tabel 6 dan Gambar 1, maka fungsi persamaan inversnya yaitu  $Y = 95,46 + 0,885/X$ . Hal ini berarti apabila terjadi peningkatan 1% LSF pada *ash* batubara maka LSF klinker akan meningkat 0,885%.

### 3.3.2 Pengaruh Modulus AM *Ash* Batubara terhadap AM Klinker

Pengujian regresi linear ini menggunakan variabel independen yaitu AM *ash* batubara (X) dengan variabel dependen yaitu AM klinker (Y). Pengujian analisis regresi linear sederhana ini juga diproses menggunakan SPSS 17.0. Hasil pengujian regresi untuk modulus AM dapat dilihat pada Tabel 4.7 berikut ini:

Tabel 7. Koefisien Kolerasi dan Koefisien Determinasi AM

<i>Model Summary</i>			
<i>R</i>	<i>R Square</i>	<i>Adjusted R Square</i>	<i>Std. Error of the Estimate</i>
0,457	0,209	0,118	0,097

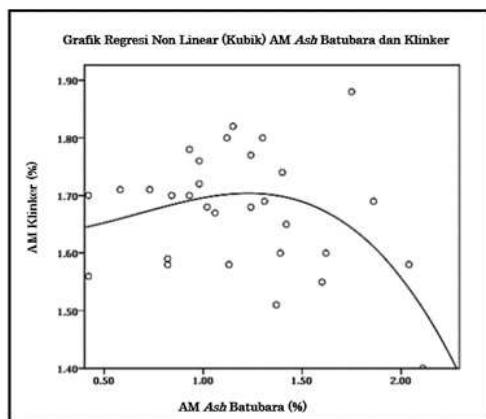
*The independent variable is AM Ash*

Berdasarkan Tabel 7 di atas, nilai dari koefisien kolerasi (R) adalah 0,457. Hal ini berarti bahwa kolerasi antara AM *ash* batubara dengan AM klinker yakni 0,457 maka kolerasi antar kedua variabel tersebut sedang. Koefisien determinasinya ( $R^2$ ) adalah 0,209 atau 20,9% sehingga AM *ash* batubara memiliki pengaruh 20,9% terhadap AM klinker dan 79,1% lainnya dipengaruhi oleh faktor lain. Hasil dari pengujian koefisien dan jenis regresinya dapat dilihat pada Tabel 8 berikut ini:

Tabel 8. Koefisien Model Kubik AM *Ash Batubara* terhadap AM Klinker

	<i>Coefficients</i>				
	<i>Unstandardized Coefficients</i>		<i>Standardized Coefficients</i>		
	<i>B</i>	<i>Std. Error</i>	<i>Beta</i>	<i>t</i>	<i>Sig.</i>
AM <i>Ash</i>	-0,039	0,742	-0,162	-0,053	0,958
AM <i>Ash</i> ** 2	0,201	0,645	2,129	0,312	0,758
AM <i>Ash</i> ** 3	-0,100	0,172	-2,303	-,0584	0,564
(Constant)	1,634	0,261		6,257	0,000

Hasil yang diperoleh pada Tabel 8 menunjukkan nilai untuk koefisien a adalah 1,634 dengan nilai untuk koefisien b= -0,039, c= 0,21 dan d= -0,1. Pemilihan model regresi kubik dilakukan karena model ini memiliki nilai korelasi dan koefisien determinasi yang paling besar diantara model regresi non linear yang lainnya. Gambar 2 menunjukkan grafik dari regresi non linear model kubik untuk AM

Gambar 2. Grafik regresi non linear (kubik ) AM *ash* batubara dan klinker

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada Tabel 8 dan Gambar 2, maka fungsi persamaan kubiknya yaitu  $Y = 1,634 - 0,039X + 0,201X^2 - 0,1X^3$ . Hal ini berarti apabila modulus AM pada *ash* batubara 0 maka AM klinker adalah 1,634. Apabila terjadi peningkatan kualitas 1% pada AM *ash* batubara maka AM klinker akan meningkat 0,262%.

### 3.3.3 Pengaruh $C_2S$ Ash Batubara terhadap $C_2S$ Klinker

Pengujian regresi ini menggunakan variabel bebas yaitu  $C_2S$  *ash* batubara (X) dengan variabel terikat yaitu  $C_2S$  klinker (Y). Hasil dari pengujiannya dapat dilihat pada Tabel 9 berikut ini:

Tabel 9. Koefisien Kolerasi dan Koefisien Determinasi  $C_2S$ 

<i>Model Summary</i>			
<i>R</i>	<i>R Square</i>	<i>Adjusted R Square</i>	<i>Std. Error of the Estimate</i>
0,298	0,089	0,021	3,116

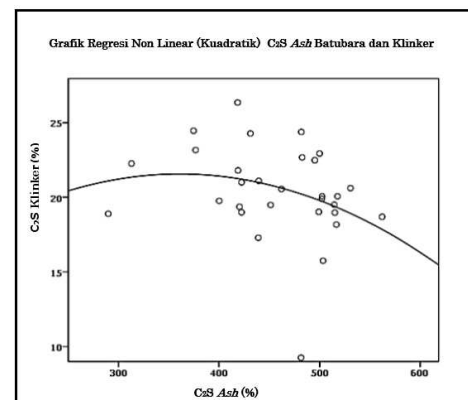
The independent variable is  $C_2S$  Ash

Berdasarkan Tabel 9 di atas, nilai dari koefisien kolerasi (R) adalah 0,298. Hal ini berarti bahwa kolerasi antara  $C_2S$  *ash* batubara dengan  $C_2S$  klinker yakni 0,298 maka kolerasi antar kedua variabel tersebut rendah. Koefisien determinasinya ( $R^2$ ) adalah 0,089 atau 8,9% sehingga  $C_2S$  *ash* batubara memiliki pengaruh 8,9% terhadap  $C_2S$  klinker dan 91,1% lainnya dipengaruhi oleh faktor lain.

Tabel 10. Koefisien Model Kuadratik  $C_2S$  Ash Batubara terhadap  $C_2S$  Klinker

	<i>Coefficients</i>				
	<i>Unstandardized Coefficients</i>		<i>Standardized Coefficients</i>		
	<i>B</i>	<i>Std. Error</i>	<i>Beta</i>	<i>t</i>	<i>Sig.</i>
$C_2S$ Ash	0,066	0,098	1,335	0,678	0,503
$C_2S$ Ash ** 2	-9,176E-5	0,000	-1,599	-0,813	0,423
(Constant)	9,619	20,830		0,462	0,648

Hasil yang diperoleh pada Tabel 10 menunjukkan nilai untuk koefisien a adalah 9,619 dengan nilai untuk koefisien b= -0,066 dan c=  $-9,176 \times 10^{-5}$ . Pemilihan model regresi kuadratik dilakukan karena model ini memiliki nilai korelasi dan koefisien determinasi yang paling besar diantara model regresi non linear yang lainnya. Gambar 3 menunjukkan grafik dari regresi non linear model kuadratik untuk  $C_2S$ .

Gambar 3. Grafik regresi non linear (kuadratik)  $C_2S$  *ash* batubara dan klinker

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada Tabel 10 dan Gambar 3 maka fungsi persamaan kuadratnya yaitu  $Y = 9,619 - 0,066X + 0,000009X^2$ . Hal ini berarti apabila modulus  $C_2S$  pada *ash* batubara 0 maka  $C_2S$  klinker adalah 9,619. Apabila terjadi peningkatan kualitas 1% pada  $C_2S$  *ash* batubara maka  $C_2S$  klinker akan menurun 0,066%. Nilai dari koefisien  $c < 0$  sehingga kurva melengkung ke bawah.

### 3.3.4 Pengaruh $C_3S$ Ash Batubara terhadap $C_3S$ Klinker

Pengujian regresi ini menggunakan variabel bebas yaitu  $C_3S$  *ash* batubara (X) dengan variabel terikat yaitu  $C_3S$  klinker (Y). Hasil dari pengujiannya dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Koefisien Kolerasi dan Koefisien Determinasi  $C_3S$

Model Summary			
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
0,103	0,011	-0,063	2,254

The independent variable is  $C_3S$  Ash

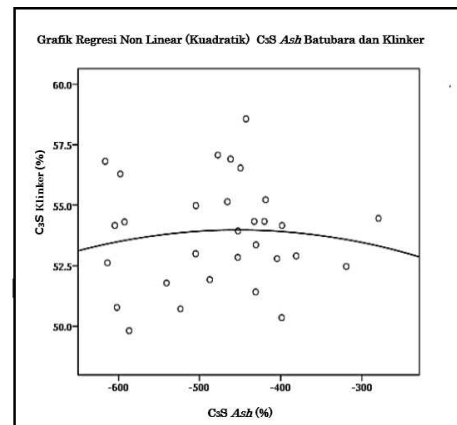
Berdasarkan Tabel 11 di atas, nilai dari koefisien kolerasi (R) adalah 0,103. Hal ini berarti bahwa kolerasi antara  $C_3S$  *ash* batubara dengan  $C_3S$  klinker yakni 0,103 maka kolerasi antar kedua variabel tersebut sangat rendah. Koefisien determinasinya ( $R^2$ ) adalah 0,011 atau 1,1% sehingga  $C_3S$  *ash* batubara memiliki pengaruh 1,1% terhadap  $C_3S$  klinker dan 98,9% lainnya dipengaruhi oleh faktor lain. Hasil dari pengujian koefisien dan model regresi dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Koefisien Model Kuadrat  $C_3S$  Ash Batubara terhadap  $C_3S$  Klinker

	Coefficients		t	Sig.
	Unstandardized Coefficients	Standardized Coefficients		
	B	Std. Error	Beta	
$C_3S$ Ash	-0,020	0,043	-0,810	0,463
$C_3S$ Ash ** 2	-2,221E-5	0,000	-0,858	0,628
(Constant)	49,430	10,215		4,839

Hasil yang diperoleh pada Tabel 11 menunjukkan nilai untuk koefisien a adalah 49,430 dan untuk koefisien b adalah -0,020 dan c adalah  $-2,21 \times 10^{-5}$ . Berdasarkan hasil dari nilai sig., maka persamaan regresi yang

digunakan adalah persamaan regresi non linear (Sig>0), maka model regresi yang digunakan adalah regresi non linear dengan model kuadrat. Pemilihan model regresi kuadrat dilakukan karena model ini memiliki nilai korelasi dan koefisien determinasi yang paling besar diantara model regresi non linear yang lainnya. Gambar 4 menunjukkan grafik dari regresi non linear model kuadrat untuk  $C_3S$  *ash*



Gambar 4. Grafik regresi non linear (kuadrat)  $C_2S$  *ash* batubara dan klinker

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada Tabel 12 dan Gambar 4 maka fungsi persamaan kuadratnya yaitu  $Y = 49,430 - 0,020X - 0,000002X^2$ . Hal ini berarti apabila modulus  $C_3S$  pada *ash* batubara 0 maka  $C_3S$  klinker adalah 49,430. Apabila terjadi peningkatan kualitas 1% pada  $C_3S$  *ash* batubara maka  $C_3S$  klinker akan menurun 0,02%. Nilai dari koefisien  $c < 0$  sehingga kurva melengkung ke bawah.

### 3.3.5 Pengaruh $C_4AF$ Ash Batubara terhadap $C_4AF$ Klinker

Pengujian regresi linear menggunakan variabel independen adalah  $C_4AF$  *ash* batubara (X) dengan variabel dependen yaitu  $C_4AF$  klinker (Y). Hasil pengujian regresi untuk  $C_4AF$  dapat dilihat pada Tabel 13 berikut ini:

Tabel 13. Koefisien Kolerasi dan Koefisien Determinasi  $C_4AF$

Model Summary				
Model	R	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	
1	0,439 <sup>a</sup>	0,193	0,164	0,58641

a. Predictors: (Constant),  $C_4AF$  Ash

Berdasarkan Tabel 13 di atas, nilai dari koefisien kolerasi (R) adalah 0,439. Hal ini



berarti bahwa kolerasi antara  $C_4AF$  *ash* batubara dengan  $C_4AF$  klinker yakni 0,439, maka kolerasi antar kedua variabel tersebut sedang. Untuk koefisien determinasinya ( $R^2$ ) adalah 0,193 atau 19,3% sehingga  $C_4AF$  *ash* batubara memiliki pengaruh 19,3% terhadap  $C_4AF$  klinker dan 80,7% lainnya dipengaruhi oleh faktor lain selain  $C_4AF$  *ash* batubara.

Tabel 14. Pengujian Koefisien a dan b pada  $C_4AF$

Model	Unstandardized Coefficients		Stand. Coeff.	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	10,341	0,231		44,807	0,000
C <sub>4</sub> AF Ash	0,019	0,007	0,439	2,588	0,015

a. *Dependent Variable:*  $C_4AF$  Klinker  
Hipotesis:

$H_0$  = Koefisien a atau b tidak signifikan

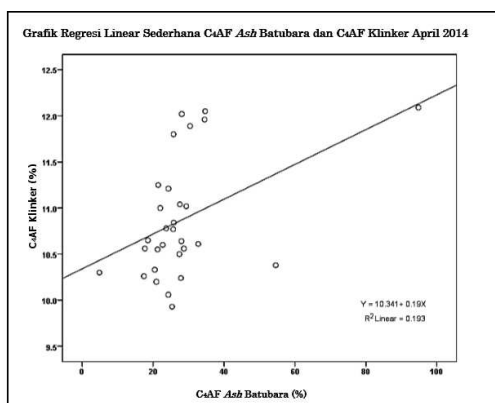
$H_1$  = Koefisien a atau b signifikan

Pengujian Koefisien a :

Tabel 14 di atas menunjukkan nilai t hitung adalah 44,807 dengan t tabel 2,045 maka hipotesis  $H_0$  ditolak (t hitung > t tabel<sub>(30;0,05)</sub>), jadi koefisien a signifikan.

Pengujian Koefisien b:

Berdasarkan Tabel 14, nilai t hitung adalah 2,588 dengan t tabel 2,045 maka hipotesis  $H_0$  ditolak (t hitung > t tabel<sub>(30;0,05)</sub>), jadi koefisien b signifikan.



Gambar 5. Grafik regresi linear sederhana  $C_4AF$  *ash* batubara dan klinker

Persamaan regresi yang diperoleh dari hasil analisis regresi sederhana tersebut adalah:

$$Y = 10,341 + 0,19X$$

Dari nilai regresi linear tersebut, dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Nilai konstanta (a) adalah 10,341, artinya jika nilai CAF pada *ash* batubara adalah 0 sehingga  $C_4AF$  pada klinker adalah 10,341%
- Nilai koefisien regresi variabel  $C_4AF$  (X) bernilai positif, yaitu bernilai 0,19. Artinya bahwa setiap kenaikan 1% kandungan  $C_4AF$  pada *ash* batubara sehingga kualitas  $C_4AF$  pada klinker akan meningkat 0,19%.

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil analisis dan pembahasan sebelumnya dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Komposisi *ash* batubara yang akan memengaruhi kualitas klinker sebelum dilakukannya proses klinkerisasi adalah  $CaO-SiO_2$ ,  $CaO-Fe_2O_3$ ,  $SiO_2-Al_2O_3$ ,  $SiO_2-Fe_2O_3$ , LSF, SM, dan AM.
- Komposisi *ash* batubara yang memengaruhi kualitas klinker setelah terjadinya proses klinkerisasi adalah LSF, AM,  $C_3S$ ,  $C_2S$ , dan  $C_4AF$ .
- Besarnya pengaruh komposisi *ash* batubara terhadap kualitas klinker *portland cement* hanya sedikit. Modulus LSF memiliki pengaruh yang paling tinggi mencapai 0,885%, AM berkisar antara 0,1-0,3%,  $C_2S$  berkisar antara 0,01-0,07%,  $C_3S$  berkisar antara 0,01-0,02%, dan  $C_4AF$  sebesar 0,019%.

#### 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Allah SWT atas selesainya penelitian ini serta Bapak Ibu dosen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin dan segenap pimpinan dan karyawan PT. Semen Tonasa atas kesempatan dan bimbingan yang diberikan untuk melakukan penelitian tugas akhir ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Alemayu, F., and Sahu, O., 2013. Minimization of Variation in Clinker Quality. *Advances in Materials*, 2, 23-28.
- Kerton, C. P. and Murray R. J. 1983. *Portland Cement Production: in Structure and Performance of cements*. London: Applied Science Publisher.

- Mohammed, T. A. M., 2012. Composition and Phase Mineral Variation of Portland Cement in Mass Factory Sulaimani–Kurdistan Region NE- Iraq. *International Journal of Basic & Application Science* 12(6):109-118.
- PT. Semen Tonasa. 2014. *Dokumen Quality Raw Meal dan Klinker April 2014*. PT. Semen Tonasa, Pangkep, Sulawesi Selatan. (tidak dipublikasi)
- PT. Semen Tonasa. 2014. *Dokumen Quality Raw Meal dan Klinker Mei 2014*. PT. Semen Tonasa, Pangkep, Sulawesi Selatan. (tidak dipublikasi)
- Sugiyono. 2012. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan Kombinasi (Mixed Method)*. Bandung: Alfabeta.
- Trihendradi, C. 2013. *Step by Step IBM SPSS 21: Analisis Data Statistik*. Yogyakarta: Andi.